

Д. С. Ковин*, Г. В. Шимов**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

*wertlos@mail.ru, **g.v.shimov@urfu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВОГО СПЛАВА 36НХТЮ

Проведено моделирование процесса горячей объемной штамповки детали из дисперсионно-твердеющего сплава 36НХТЮ (ЭИ-702). Получено распределение деформации по сечению детали. Проведено исследование влияния микроструктуры на свойства железоникелевых сплавов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, дисперсионно-твердеющие сплавы, железоникелевые сплавы, 36НХТЮ, ЭИ-702, микроструктура, объемная штамповка.

D. S. Kovin, G. V. Shimov

Fe–Ni ALLOY 36NHTU (EI-702) BILLET DIE FORGING SIMULATION

A simulation of hot die forging billets from precipitation-hardening alloy 36NHTU (EI-702) was made. The distribution of the deformation over the cross section parts was found. The influence of the microstructure on the properties of iron-nickel alloys was investigated.

Keywords: computer simulation, precipitation-hardening alloy, Fe–Ni alloys, 36NHTU, EI-702, microstructure, die forging.

Упрочняемые старением сплавы, содержащие одновременно значительные количества Ni и Fe, составляют самостоятельный класс никелевых сплавов. Их используют для изготовления множества деталей газотурбинных двигателей и паровых турбин. Свойства сплавов на железоникелевой основе формируются в результате сочетания эффектов легирования и упрочнения; упрочнение включает твердорастворное упрочнение, зернограничное и упрочнение старением. В связи с особенностью упрочнения дисперсионно-твердеющих сплавов при производстве деталей из сплавов типа 36НХТЮ существует проблема неоднородного распределения механических свойств по объему штампованной заготовки. Для изучения причин этого было проведено моделирование горячей объемной штамповки детали и исследовано влияние степени деформации на механические характеристики сплава. Целью моделирования являлось получение МКЭ-модели, максимально

приближенной к реальным условиям, а также проведение анализа распределения деформации по сечению заготовки с целью установления причин различия механических свойств разных частей детали.

Моделирование проводилось в программном комплексе DEFORM-3D. Для моделирования процесса были созданы геометрические модели инструмента и заготовки в программе КОМПАС-3Д. Размеры инструмента и заготовки соответствуют реальным, применяемым на производстве. Кривая упрочнения для материала задавалась в программу по точкам в соответствии со справочными данными с линейной экстраполяцией [1].

После осадки на боковой поверхности заготовки имеет место неблагоприятное напряженно-деформированное состояние (точка P1 на рис. 1, б).

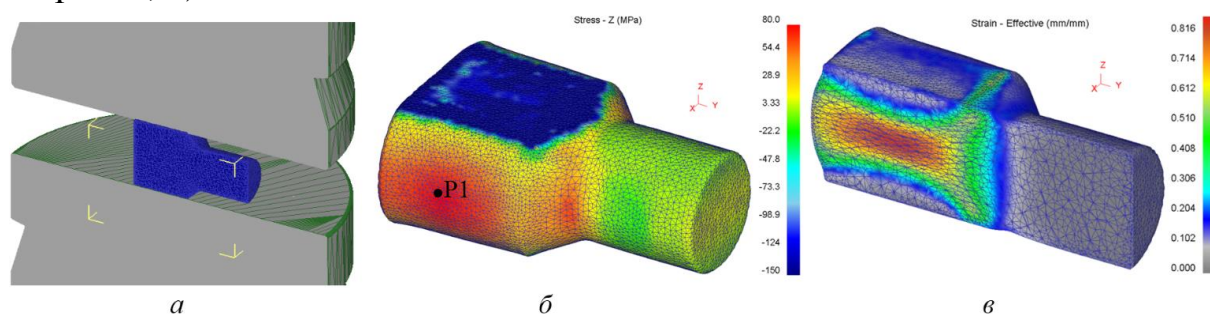


Рис. 1. Расположение инструмента и заготовки при постановке задачи осадки – а, распределение главных напряжений σ_{zz} по объему заготовки – б и распределение деформации по сечению заготовки после окончания расчета – в

Из рис. 1 видно, что наиболее деформированными областями заготовки являются области на боковой поверхности осаживаемой части и в центре заготовки, при этом цилиндрическая часть вообще не деформируется.

После операции осадки был смоделирован процесс дальнейшей горячей объемной штамповки с учетом 10-секундной выдержки (перенос заготовки в штамп). Постановка операции объемной штамповки выполнялась также в упругопластическом варианте. Кроме того, в задачу было импортировано напряженно-деформированное состояние заготовки из задачи «осадка».

Позиционирование инструмента и заготовки до (а) и после (б) операции штамповки представлено на рис. 2. Распределение накопленной степени деформации по сечению детали после окончания расчета приведено на рис. 3.

Для оценки влияния степени деформации на механические характеристики сплава 36НХТЮ после старения исследовано распределение накопленной за 2 операции (осадки и штамповка) степени деформации по объему и проведено сравнение с производственными данными по твердости и пределу прочности в различных частях детали.

Полученные при моделировании результаты подтвердили связь низкого уровня механических свойств в цилиндрической части детали с отсутствием в этой части накопленной степени деформации.

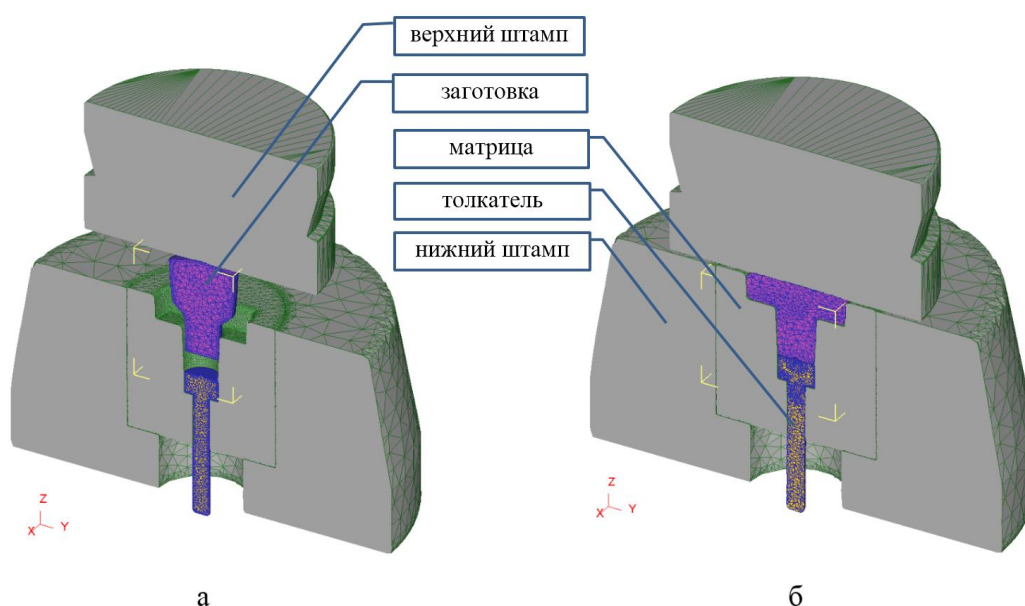


Рис. 2. Позиционирование инструмента и заготовки до – а и после – б операции штамповки

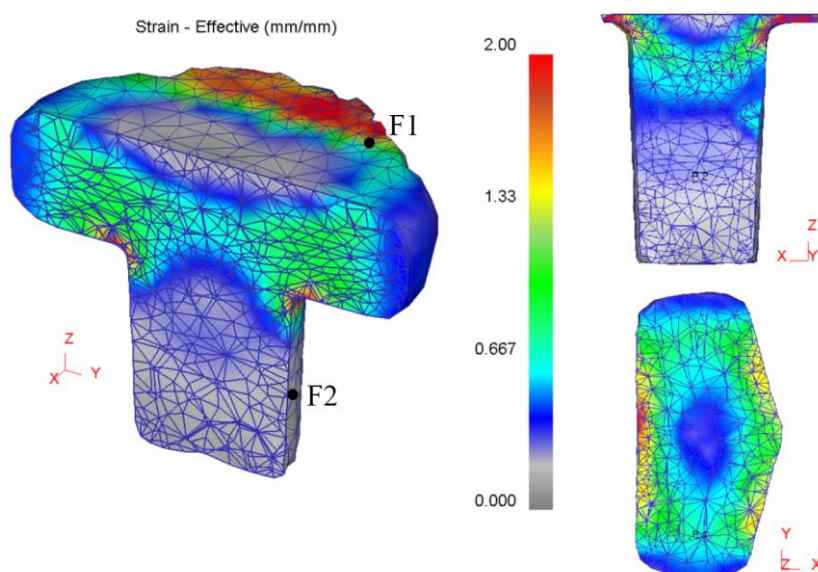


Рис. 3. Распределение накопленной степени деформации по сечению заготовки

При анализе литературных данных [2] и опыта предприятия были исследованы механизмы эволюции зеренной и фазовой структур, связанные со степенью деформации. Установлено, что следствием неравномерности проработки металла действительно является различие твердости, прочности и кратковременных механических характеристик при производстве деталей из сплава 36НХТЮ. В соответствии с производственными данными твердость части детали с накопленной

степенью деформации сдвига $\Lambda = 1,73$ (точка F1 на рис. 3) в 1,5 раза больше, чем твердость другой части той же детали, которая не подвергалась деформированию перед старением (точка F2 на рис. 3), а различие по пределу прочности для этих двух частей детали достигает 2.

Можно предположить следующий механизм эволюции микроструктуры исследуемого сплава 36НХТЮ. При нагреве детали до температуры штамповки (1100 °С) все ранее образовавшиеся упрочняющие фазы (γ' , η , специальные карбиды) растворяются в матрице. Далее происходит штамповка, т. е. интенсивная деформация с большой скоростью. Известно, что при деформации с большой степенью и скоростью имеет место интенсивная полигонизация, увеличивается количество центров рекристаллизации и происходит измельчение зерна. Затем следует 30-минутная выдержка при 900 °С с охлаждением в воде, что приводит к выделению метастабильной γ' -фазы по границам зерен и дальнейшему ее переходу в стабильную η -фазу. С учетом разницы в размере зерна двух исследуемых частей детали очевидно, что интенсивность дисперсионного упрочнения в части детали с более высокой накопленной степенью деформации (точка F1) будет больше, чем в цилиндрической части детали, которая практически не деформировалась (точка F2). Таким образом можно сделать вывод, что причиной градиента механических характеристик по объему детали является неравномерное выделение упрочняющей фазы на стадии старения, что в свою очередь происходит от неравномерной проработки частей детали на этапахковки и штамповки.

При исследовании процесса производства детали из прецизионного дисперсионно-твердеющего сплава 36НХТЮ установлено, что неравномерность распределения механических свойств по объему детали связана с неравномерной проработкой структуры на стадии деформирования. Установлен механизм эволюции структуры сплава при старении в зависимости от накопленной степени деформации. Решением проблемы может быть изменение конструкции инструмента деформации, а также изменение формы заготовки с целью равномерной проработки всех частей детали на стадии штамповки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: справочник. М.: Металлургия, 1983. 352 с.
2. Симс Ч. Т., Сталофф Н. С., Хагель У. К. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок: пер. с англ. В 2 кн. Кн. 1 / под ред. Р. Е. Шалина М.: Металлургия, 1995. 384 с.